

НОВЫЕ ЖАРОИЗНОСОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Князева И.В., Молочкова О.С.

Руководитель – доцент, к.т.н. Петроченко Е.В.

Магнитогорский государственный технический университет

им. Г.И. Носова

emelushin@magtu.ru

Значительное число деталей горной и металлургической промышленности работают в условиях интенсивного абразивного износа и высоких температур. Работающие в таких условиях детали должны обладать специальными свойствами – высокими износо- и окислостойкостью. Такой комплекс свойств можно обеспечить за счет комплексного легирования белых высокохромистых чугунов.

Хромистые комплексно-легированные чугуны обладают высокой жароизносостойкостью и повышенными механическими свойствами при высоких температурах, которые обеспечиваются особенностями структуры этих чугунов и могут успешно применяться в промышленности в виде жароизносостойкого, жаропрочного литья для изготовления многих видов изделий.

Выбор базового легирующего комплекса был проведен на основе анализа имеющихся литературных данных о белых высокохромистых жароизносостойких чугунах и проведенных ранее исследованиях. Исследовали сплавы системы Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti.

Структуру и фазовый состав чугунов исследовали с помощью металлографического, рентгенографического и электронографического методов анализа.

Жаростойкость ($h_{ув}$) оценивали весовым методом по увеличению массы образца по ГОСТ 6130-71.

Количественный металлографический анализ, автоматизированную обработку результатов измерения микротвердости проводили на анализаторе изображений Thixomet PRO.

Межфазное распределение легирующих элементов на окисленной поверхности определяли с помощью сканирующего электронного микроскопа фирмы «JEOL» JSM-6460 LV в условиях лаборатории Южно-Уральского государственного университета.

Износостойкость ($K_{и}$) сплавов изучали согласно ГОСТ 23.208-79 «Метод испытания материалов на износостойкость при трении о не жестко закрепленные абразивные частицы».

Было установлено, что все сплавы являются доэвтектическими. Фазовый состав чугунов представляет собой γ - твердый раствор, комплексные карбиды типа $(Fe, Cr, Mn)_7C_3$ и карбиды TiC. После завершения кристаллизации во всех типах форм в них формируется

структура, состоящая из избыточных дендритов аустенита, карбидов титана и аустенитохромистокарбидной эвтектики.

При увеличении содержания углерода и хрома растет дисперсность и объемная доля аустенитохромистокарбидной эвтектики, снижается количество и размеры дендритов первичного аустенита.

Было исследовано изменение твердости, микротвердости металлической основы и эвтектики, износостойкости и окалиностойкости в зависимости от скорости охлаждения (заливка в сухую, сырую песчано-глинистые формы и чугунный кокиль) и химического состава.

Наибольшее влияние на твердость и износостойкость сплавов оказывает углерод и хром, остальные элементы влияют незначительно. Это можно объяснить тем, что именно хром и углерод являются главными регуляторами изменений структуры матрицы и количества упрочняющей фазы. С увеличением содержания хрома и углерода износостойкость увеличивается.

При заливке в кокиль происходит повышение микротвердости эвтектики, твердости и износостойкости чугунов за счет изменения объема карбидной фазы. Максимальной износостойкостью обладают чугуны, залитые в кокиль, так как карбиды измельчаются, более равномерно распределяются в матрице и при абразивном изнашивании прочно удерживаются ею. С увеличением скорости охлаждения снижается количество и размеры дендритов первичного аустенита, растет дисперсность и объемная доля карбидов типа $(\text{Fe}, \text{Cr}, \text{Mn})_7\text{C}_3$, что приводит к увеличению износостойкости.

Падение окалиностойкости с увеличением скорости охлаждения, связано с тем, что растет доля эвтектики в структуре, а, следовательно, происходит обеднение твердого раствора хромом.

Дальнейшего повышения свойств нового чугуна добивались за счет дополнительного его легирования ниобием и алюминием в количестве до 3 % каждого порознь и совместно.

Результаты исследований показали, что наибольшие ростоустойчивость и окалиностойкость наблюдаются при 1,0-1,5% Nb. Это объясняется стабилизирующим воздействием ниобия на структурные составляющие чугуна, а также обогащением металлической основы хромом. Исследуемые чугуны, во всем интервале концентраций Nb отвечают требованиям жаростойких сплавов, но при этом имеют и повышенные показатели износостойкости.

При легировании алюминием, наблюдается экстремум износостойкости при 1,5% Al, а также непрерывное увеличение твердости чугуна. Это связано с образованием ϵ -фазы $(\text{Fe}_3\text{AlC}_x)$, отличающейся высокой микротвердостью- 640-850 HV.

Отрицательное влияние на окалиностойкость при Al до 2% объясняется тем, что, происходит повышение концентраций вакансий в окалине вследствие частичного замещения двухвалентных атомов железа и никеля

трехвалентными атомами алюминия. Повышение числа вакансий влечет за собой ускорение диффузии кислорода к поверхности металла. Кроме того, падение окалинстойкости, с увеличением содержания Al, связано с переходом металлической матрицы от однофазной - аустенитной в смесь двух растворов (α -фаза + γ -фаза). Существенное повышение окалинстойкости наблюдается при введении в сплав 2,5-3,0 % Al. Это связано с образованием шпинели $\text{FeO}(\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3)$ и собственного стабильного оксида Al_2O_3 , а также с увеличением количества легированного феррита и приближением металлической основы к однородной при содержании алюминия больше 2,5%.

Таким образом, одновременному повышению всех специальных свойств, данные элементы не способствуют. Поэтому легирование тем или иным элементом определяется тем, какое специальное свойство превалирует при эксплуатации отливок из данных чугунов. Было решено исследовать совместное влияние алюминия и ниобия на структуру и свойства КЛБЧ.

Содержание алюминия и ниобия менялось от 1 до 3% каждого, было отлито 9 составов в три типа литейных форм

Методом множественного и парного регрессионного анализа получены адекватные зависимости твердости (HRC), окалинстойкости ($h_{\text{ув}}$) и коэффициента относительной износостойкости ($K_{\text{и}}$) от параметров карбидной фазы: микротвердости эвтектики ($\text{HV}_{\text{эвт}}$); объемной доли карбидов титана и ниобия ($V_{V_{\text{нетр}}}$); объемной доли карбидов хрома ($V_{V_{\text{тр}}}$); длины карбидов ($L_{\text{к}}$); размера карбидов ($A_{\text{к}}$) и расстояния между карбидами ($\Delta l_{\text{к}}$). Были определены численные значения коэффициентов и ряды влияния параметров микроструктуры на свойства чугунов.

На основе рассмотренных весовых коэффициентов и уравнений регрессии было установлено, что наиболее сильно и положительно на свойства влияют такие характеристики микроструктуры, как микротвердость эвтектики ($\text{HV}_{\text{эвт}}$), размер карбидов ($A_{\text{к}}$), расстояние между карбидами ($\Delta l_{\text{к}}$), объемная доля карбидов титана и ниобия ($V_{V_{\text{нетр}}}$); объемная доля карбидов хрома ($V_{V_{\text{тр}}}$).

Оптимизация параметров микроструктуры была проведена с помощью средств статистического анализа данных Microsoft Excel (пакеты анализа), предназначенных для решения сложных статистических задач.